

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sepeda Listrik



Gambar 2. 1 Sepeda Listrik

(sumber : ekonomi.bisnis.com)

Sepeda listrik atau dikenal juga dengan *e-bike*, *powerbike* adalah sepeda yang mempunyai motor listrik sebagai alat bantu gerakannya. Perbedaan sepeda listrik dengan sepeda motor listrik adalah sepeda listrik mempunyai pedal seperti sepeda pada umumnya yang bisa juga digunakan untuk menggerakkan sepeda listrik tersebut sedangkan sepeda motor listrik hanya mengandalkan motor listrik sebagai penggerakannya. Sepeda listrik menggunakan baterai isi ulang sebagai sumber tenaga motor listrik. Motor listrik membantu untuk mengurangi kelelahan dalam bersepeda, membuat sepeda ini digemari oleh banyak orang, termasuk orang dengan keterbatasan kemampuan fisik dan kaum manula.⁴

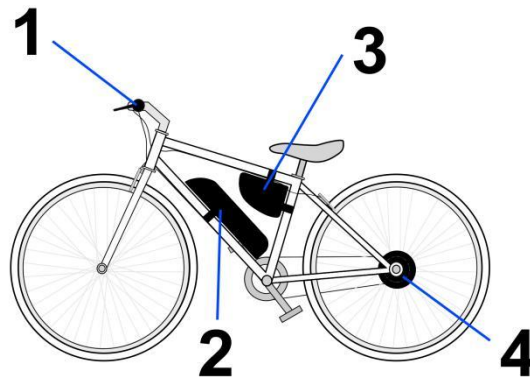
2.2. Mekanisme Kerja Sepeda Listrik

Mekanisme kerja dari sepeda listrik adalah sangat sederhana. Sepeda listrik memanfaatkan sumber tenaga yang berupa baterai yang digunakan untuk menggerakkan motor yang bertujuan untuk menjalankan sepeda. Oleh karena itu, sepeda listrik dilengkapi oleh beberapa komponen. Komponen paling dasar yang

⁴ Wikipedia, "Sepeda Listrik" diakses dari https://id.wikipedia.org/wiki/Sepeda_listrik, pada tanggal 29 April 2022 pukul 09.08

diperlukan untuk membuat sepeda listrik atau *e-bike* adalah motor, *controller*, baterai dan *handle gas*.

Gambar 2.2 berikut adalah gambar bagian-bagian dari sepeda listrik diurutkan sebagai berikut :



Gambar 2. 2 Bagian-Bagian Sepeda Listrik

(sumber : pribadi)

1. **Grip Gas**, Grip gas digunakan untuk mengatur kecepatan dan menjaga kestabilan seseorang ketika sedang mengendarai sepeda listrik dan berjalan dengan stabil.
2. **Baterai**, Baterai merupakan sumber energi listrik yang digunakan pada sepeda listrik. Fungsi dari baterai dalam sepeda listrik yaitu sebagai sumber listrik yang dapat menggerakkan dinamo.
3. **Controller**, *Controller* digunakan untuk mengatur seberapa cepat atau lambat sepeda listrik saat melaju, lebih singkatnya mengatur gerak sepeda listrik saat digunakan.
4. **Motor Listrik**, Biasa disebut dengan dinamo merupakan komponen yang menghasilkan tenaga pada sepeda listrik dan membuatnya bergerak dengan energi listrik yang diubah menjadi energi gerak.⁵

⁵ YaleTools, "Bagian-Bagian Sepeda Listrik dan Fungsinya" diakses dari <https://yaletools.com/id/bagian-bagian-sepeda-listrik/>, pada tanggal 29 April 2022 pukul 09.29



2.3. Motor Listrik

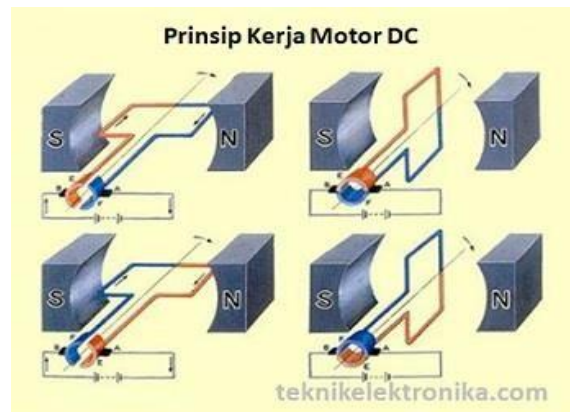
Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Alat yang berfungsi sebaliknya, mengubah energi mekanik menjadi energi listrik disebut generator atau dinamo. Motor listrik dapat ditemukan pada peralatan rumah tangga seperti kipas angin, mesin cuci, pompa air, dan masih banyak lagi.

2.4. Cara Kerja Motor Listrik

Mekanisme kerja motor listrik pada umumnya adalah memanfaatkan arus listrik untuk menghasilkan medan magnet pada sekitar kumparan untuk memutar poros (*armature*) pada motor listrik.

Motor DC terdapat berbagai ukuran dan kekuatan, masing-masing didesain untuk keperluan yang berbeda-beda namun secara umum memiliki berfungsi dasar yang sama yaitu mengubah energi elektrik menjadi energi mekanik. Sebuah motor DC sederhana dibangun dengan menempatkan kawat yang dialiri arus di dalam medan magnet kawat yang membentuk *loop* ditempatkan sedemikian rupa diantara dua buah magnet permanen. Bila arus mengalir pada kawat, arus akan menghasilkan medan magnet sendiri yang arahnya berubah-ubah terhadap arah medan magnet permanen sehingga menimbulkan putaran.

Uraian prinsip kerja dari sebuah motor listrik diatas dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. 3 Prinsip Kerja Motor DC

(sumber : teknikelektronika.com)

Prinsip kerja motor listrik DC menggunakan konsep elektromagnet untuk bergerak, ketika arus listrik diberikan ke kumparan, permukaan kumparan yang bersifat utara bergerak menghadap ke magnet ber kutub selatan dan kumparan bersifat selatan akan bergerak menghadap ke utara magnet. Kutub utara kumparan bertemu dengan kutub selatan magnet ataupun kutub selatan kumparan bertemu dengan kutub utara magnet maka akan terjadi saling Tarik menarik yang menyebabkan pergerakan kumparan berhenti. Untuk menggerakannya lagi, tepat pada saat kutub kumparan berhadapan dengan kutub magnet, arah arus pada kumparan dibalik. Pada saat perubahan kutub tersebut terjadi, kutub selatan kumparan akan berhadapan dengan kutub selatan magnet dan kutub utara kumparan akan berhadapan dengan kutub utara magnet.

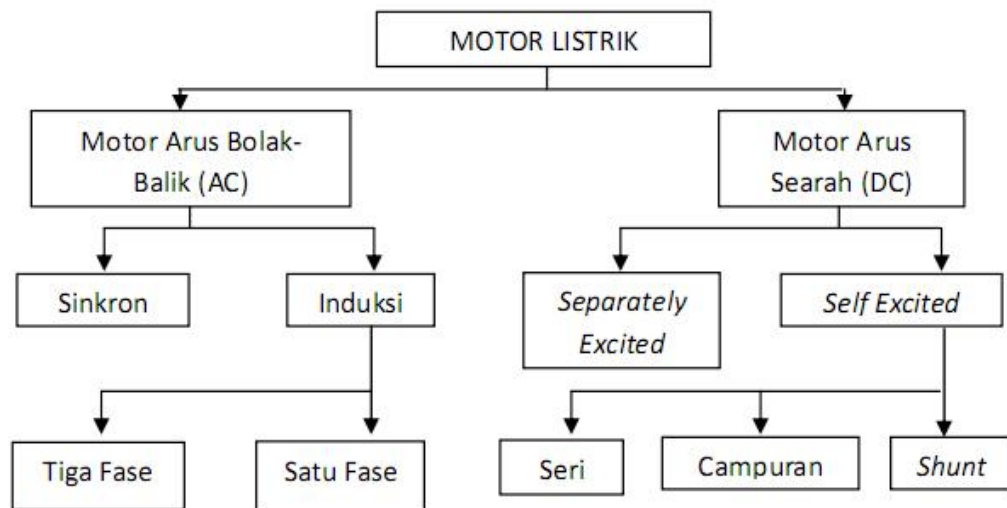
Karena kutubnya sama, maka akan terjadi tolak menolak sehingga kumparan bergerak memutar hingga utara kumparan berhadapan dengan selatan magnet dan selatan kumparan berhadapan dengan utara magnet. Arus yang mengalir ke kumparan dibalik lagi dan kumparan akan berputar lagi karena adanya perubahan kutub. Siklus ini akan berulang-ulang hingga arus listrik pada kumparan diputuskan.³

³ Teknik Elektronika, "Prinsip Kerja Motor DC" diakses dari <https://teknikelektronika.com/pengertian-motor-dc-prinsip-kerja-dc-motor/>, pada tanggal 29 Mei 2022 pukul 10.00

2.5. Jenis-Jenis Motor Listrik

Motor listrik terbagi menjadi dua jenis, yaitu motor listrik arus bolak-balik (AC) dan motor listrik arus searah (DC). Motor AC memanfaatkan arus listrik bolak-balik untuk menjalankannya. Motor sinkron, motor induksi satu fasa dan motor induksi dua fasa termasuk dalam jenis motor listrik arus bolak-balik (AC). Motor DC mempunyai dua penguat medan, yaitu penguat sendiri memanfaatkan rangkaian kumparan medan yang terbagi menjadi seri, shunt dan campuran.

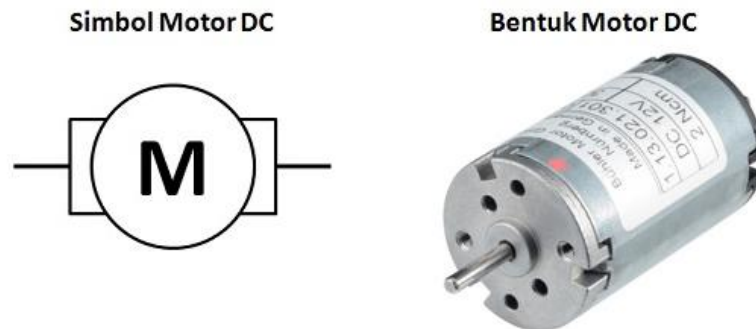
Jenis-jenis motor listrik ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. 4 Jenis-Jenis Motor Listrik

(sumber : google.com)

2.5.1. Motor Listrik DC



Gambar 2. 5 Motor Listrik DC

(sumber : google.com)

Motor DC adalah suatu komponen yang dapat mengubah energi listrik (berasal dari sumber DC) yang mengalir di dalamnya menjadi energi mekanik berdasarkan prinsip medan elektromagnetik. Motor DC mempunyai tiga komponen utama yaitu, kutub medan (stator), dinamo (rotor) dan komutator.

Untuk penjelasannya adalah seperti di bawah ini:

1. Kutub Medan (Stator)

Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan *bearing* pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub magnet kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetic energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

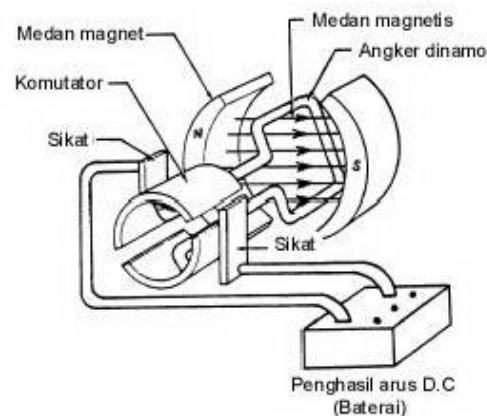
2. Dinamo (Rotor)

Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as

penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dynamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo

3. Commutator

Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikkan arah arus listrik dalam dinamo. Commutator juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.



Gambar 2. 6 Bagian-Bagian Motor Listrik DC

(sumber ; google.com)

2.5.2. Motor *Brushless* DC

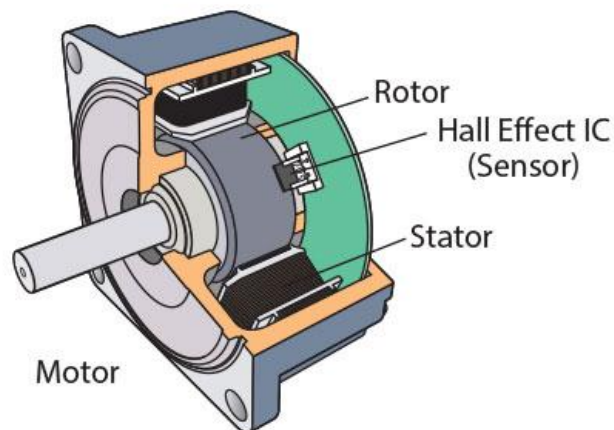
Motor BLDC merupakan pilihan tepat untuk aplikasi yang membutuhkan keandalan tinggi, efisiensi tinggi dan rasio *power-to-volume* tinggi. Secara umum, motor BLDC dianggap sebagai motor dengan performa tinggi yang mampu menghasilkan torsi yang besar pada range kecepatan yang besar.

Motor BLDC adalah turunan dari motor DC yang paling umum digunakan, yaitu motor DC dengan sikat dan mereka memiliki kurva karakteristik torsi dan kecepatan yang sama. Perbedaan utama motor BLDC dan DC adalah penggunaan sikat. Motor BLDC tidak memiliki sikat dan harus terkomutasi secara elektronik. Komutasi merupakan

perubahan fase arus motor pada waktu yang tepat untuk menghasilkan torsi rotasional.

Motor BLDC sangat handal karena tidak memiliki sikat yang harus diganti. Ketika dioperasikan dalam kondisi optimal, usia motor dapat lebih dari 10.000 jam. Untuk aplikasi jangka panjang, hal ini dapat menjadi keuntungan yang besar. Setiap kali motor rusak atau perlu diganti, plant atau bagian dari plant harus dimatikan. Hal ini membutuhkan waktu dan uang, tergantung pada berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengganti komponen yang aus dan rusak agar plant dapat berjalan seperti semula.

Motor BLDC (*Brushless DC*) merupakan motor listrik dengan struktur yang sederhana, kehandalan yang tinggi dan perawatan yang mudah dengan kelebihan motor DC seperti efisiensi tinggi, tidak ada kerugian eksitasidan dibandingkan motor listrik lainnya, motor BLDC telah menunjukkan kinerja yang lebih baik sebagai aktuator.



Gambar 2. 7 Motor BLDC

(sumber : google.com)

Pada dasarnya motor BLDC bekerja menggunakan prinsip gaya tarik antara dua magnet yang berada padamagnet yang berlainan kutub atau gaya tolak antara dua magnet dengan kutub yang sama. Rotor pada

motor BLDC tersusun dari magnet permanen sehingga kutubnya tetap sedangkan stator terbuat dari belitan sehingga kutub magnet tersebut dapat berubah tergantung polaritas arus belitan stator yang diberikan.

Cara kerja pada motor BLDC cukup sederhana, yaitu magnet yang berada pada poros motor akan tertarik dan terdorong oleh gaya elektromagnetik yang diatur oleh *driver* pada motor BLDC. Hal ini membedakan motor BLDC dengan motor DC yang menggunakan sikat mekanis yang berada pada komutator untuk mengatur waktu dan memberikan medan magnet pada lilitan.

BLDC dapat memberikan rasio daya dan beban yang lebih tinggi secara signifikan dan memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan motor tanpa sikat tradisional. Pada prinsip dasar medan magnet adalah kutub yang sama akan saling tolak menolak sedangkan apa bila berlainan kutub maka akan tarik menarik. Jika memiliki dua buah magnet dan menandai satu sisi magnet north (utara) dan south (selatan), maka bagian sisi north akan coba menarik south, sebaliknya jika sisi north magnet pertama akan menolak sisi north yang kedua dan seterusnya apabila kedua sisi magnet mempunyai kutub yang sama.

Prinsip mengenai kutub magnet tersebut dapat diterapkan dalam prinsip kerja motor BLDC. Secara umum motor BLDC memiliki medan magnet permanen pada rotor dan magnet yang berasal dari gaya elektromagnet (magnet yang ditimbulkan dari pemberian input arus listrik) pada bagian kumparan stator. Pada motor BLDC, Driver berfungsi untuk mengatur arus masukan yang harus dialirkan ke kumparan stator untuk dapat menimbulkan medan elektromagnet yang sesuai untuk memutar rotor. Hal tersebut menjadi pembeda dengan motor DC konvensional, dan menggantikan kerja komutasi mekanisnya.

2.6. Controller

E-bike controller atau pengontrol sepeda listrik adalah komponen yang menghubungkan semua bagian kelistrikan pada sepeda secara bersamaan. Controller Ini menghubungkan komponen-komponen seperti baterai, motor, *throttle*, *display*, *pedal-assist*, dan berbagai sensor. Ini adalah komputer kecil yang bertindak sebagai jantung dari sepeda listrik. *Controller* ini dapat mengatur fungsi sepeda secara menyeluruh.²



Gambar 2. 8 *Controller* Sepeda Listrik

(sumber : sparepartgallery)

Di dalam kerjanya *controller* mengambil input dari semua bagian sepeda listrik seperti *throttle*, baterai, sensor kecepatan, tampilan, motor, dll., dan menentukan sinyal apa yang akan dikembalikan. Selain itu *controller* memiliki fungsi sebagai pengaman terhadap komponen-komponen sepeda listrik yaitu sebagai berikut :

1. Proteksi Tegangan Rendah, *Controller* ini memantau tegangan baterai secara terus menerus, dan mematikan motor setiap kali tegangan mencapai tingkat batasnya. Ini akan melindungi baterai dari *over-discharge*.

² Rabun.in, "How to Choose E-bike Motor Controller" diakses dari <https://robu.in/how-to-choose-e-bike-motor-controller/>, pada tanggal 10 Mei 2022



2. Proteksi Tegangan Lebih, *Controller* juga memantau tingkat pengisian tegangan baterai. Ini akan mati secara otomatis ketika tegangan baterai mencapai muatan penuh.
3. Proteksi Suhu Lebih, *Controller* memantau suhu FET (Transistor Efektif Lapangan). Ini akan mematikan motor setiap kali mereka menjadi terlalu panas.
4. Proteksi Arus Lebih, Jika motor mengalami arus lebih, *controller* akan mengurangi aliran arus ke motor. Ini melindungi gulungan motor serta transistor daya FET.

2.7. Baterai

Baterai (*Battery*) adalah sebuah sumber energi yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi listrik yang dapat digunakan seperti perangkat elektronik. Hampir semua perangkat elektronik yang portabel seperti *handphone*, laptop, dan maianan *remote control* menggunakan baterai sebagai sumber listriknya. Dengan adanya baterai, sehingga tidak perlu menyambungkan kabel listrik ke terminal untuk dapat mengaktifkan perangkat elektronik kita sehingga dapat dengan mudah dibawa kemana-mana. Setiap baterai terdiri dari terminal positif (Katoda) dan terminal negatif (Anoda) serta elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar. Output arus listrik dari baterai adalah arus searah atau disebut juga dengan arus DC (*Direct Current*). Pada umumnya, baterai terdiri dari 2 jenis utama yakni baterai primer yang hanya dapat sekali pakai (*single use battery*) dan baterai sekunder yang dapat diisi ulang (*rechargeable battery*). Baterai yang dibahas pada laporan ini yang dapat diisi ulang dan biasa digunakan pada kendaraan listrik yaitu baterai Lithium ion.

2.8. Baterai *Lithium Ion*

Baterai *Lithium-Ion* mulai berkembang pada tahun 1912. Namun, baterai ini menjadi populer ketika Sony mengadopsinya pada tahun 1991. Baterai Li-ion merupakan baterai yang dapat dilepas (*removeable*). Baterai tipe ini sering kita lihat pada laptop, tablet dan *smartphone*. Baterai Li-Ion ini merupakan istilah yang mengacu kepada materialnya saja, dimana yang sebenarnya ada banyak jenis Baterai Li-ion yang memiliki senyawa kimia yang berbeda.

Energi yang tersimpan dalam baterai akan habis diserap beban dalam hal ini motor BLDC sebagai penggerak sepeda listrik. Konsumsi daya listrik pada motor dapat dilakukan perhitungan pemakaian baterai untuk motor BLDC pada kecepatan maksimum didapatkan :

$$\text{Waktu pemakaian baterai (h)} = \frac{\text{Kapasitas Baterai (Ah)}}{\text{Arus kerja motor (A)}} \dots\dots\dots (2.1)$$



Gambar 2. 9 Baterai *Lithium-Ion*

(sumber : google.com)

Berdasarkan senyawa kimia yang digunakan dalam baterai Li-ion, maka baterai tersebut dibagi ke dalam 6 kelompok atau jenis, yaitu :

- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia LiCoO_2 (*Lithium Cobalt Oxide*) atau disingkat dengan LCO.
- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia *Lithium Manganese Oxide* (LiMn_2O_4) atau disingkat dengan LMO.



- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia *Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide* (LiNiMnCoO_2) atau disingkat dengan NMC.
- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO_4) atau disingkat dengan LFP.
- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia *Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide* (LiNiCoAlO_2) atau disingkat dengan NCA.
- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia *Lithium Titanate* ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) atau disingkat dengan LTO.

Keenam jenis baterai Li-Ion digunakan pada *device* yang berbeda-beda, dimana :

- LCO digunakan pada *Cellphone*, Laptop, Kamera dsb.
- LMO digunakan pada ala-alat listrik (*Power tools*), Peralatan medis (*Medical devices*), *Electric Powertrains*.
- NMC sering digunakan pada *E-bikes*, Peralatan Medis, EVs, dan di industri-industri.
- LFP digunakan pada stasioner yang membutuhkan arus beban tinggi dan juga daya tahan tinggi.
- NCA digunakan pada Peralatan medis, Industri, *Electric powertrain* (Tesla).
- LTO digunakan pada UPS, *electric powertrain* dan penerangan jalan bertenagasurya.¹

¹ Battery University, "Types of Lithium-ion" diakses dari <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>, pada tanggal 12 Mei 2022 pukul 20.30